

Opmåling og dokumentation af RF-felter

Udarbejdet af Kim Horsevad¹

for²

Rådet for Helbredssikker Telekommunikation³

Indledning:

Nærværende dokument er beregnet som en begyndervejledning i forbindelse med opmåling og eventuel dokumentation af RF-felter i forbindelse med trådløs kommunikationsteknologi.

Sigtet med vejledningen er at tilvejebringe en fælles forståelse for nogle af de tekniske udfordringer, der kan forekomme i forbindelse med etablering af repræsentative måleserier i praksis.

Måleapparater:

I vores elektroniske tidsalder findes der mange forskellige måleapparater at vælge imellem. Nogle "kinamodeller" kan findes på Ebay til under 100 kr, andre mere professionelle måleapparater koster adskillige tusinde kroner. For at være sikker på at anskaffe sig et måleapparat, der passer til ens behov, er det derfor vigtigt at kunne afkode de forskellige tekniske specifikationer.

Følsomhedsområde:

I udvælgelsen af måleapparater må man allerførst gøre sig klart, at intet måleapparat kan måle alle former for radiostråling. De lavere frekvenser (som eksempelvis forekommer ved overharmoniske svingninger i elforsyningsnettet = "dirty electricity") måles bedst med måleapparater dertil. De højfrekvente felter, som for eksempel stråling fra mobilantenner måles bedst med måleapparater specifikt beregnet hertil. I specifikationerne for måleapparatet vil det generelt være angivet, hvilket frekvensområde måleapparatet er beregnet for.

1 Kontaktoplysninger for Kim Horsevad: kim@horsevad.dk, horsevad.dk, tlf.: 61 33 05 89.

2 Dokumentet må frit kopieres og publiceres, både i digitale og analoge former, under følgende forudsætninger: 1) Dokumentet fremtræder i sin helhed. 2) Dokumentet må ikke ændres/redigeres. 3) Dokumentet skal stilles gratis til rådighed.

3 Kontaktoplysninger for Rådet for Helbredssikker Telekommunikation:
www.helbredssikker-telekommunikation.dk

Antenner:

Et andet vigtigt element i udvælgelsen af måleapparater er måleapparatets antenne. En almindelig antenne på et RF-apparat beregnet til mikrobølgeområdet måler kun strålingen i een dimension. Er man interesseret i den samlede stråling i alle tre dimensioner skal man altså tilte måleapparatet og foretage tre forskellige målinger. Denne målingskompleksitet kan undgås med en isotropisk antenne, som måler alle tre dimensioner samtidigt.

Peak:

Peak er højdepunktet på en kurve. Det er meget vigtigt, at et måleapparat beregnet for RF-stråling er i stand til at måle Peak-værdier. Oftest er apparatet udstyret med en Peak-Hold-funktion, således at displayet fastholder den højeste målte værdi. Peak-værdien for RF-stråling fra mobiltelefoner kan være i størrelsesordenen 100 gange højere end gennemsnitsværdien kaldet RMS.

RMS:

RMS er et slags gennemsnit for feltintensiteten i et RF-felt. Det er almindeligvis RMS-effekten, der benyttes i forbindelse med officielle målinger og tilladelser. Det er altid RMS-effekten, der anvendes i forbindelse med effektmålinger. Det kan altså være ganske nyttigt med et apparat, der kan måle både RMS og Peak.

Frekvenser for forskellige enheder:

Mobiltelefoner:

2G (GSM) : 900 MHz, 1800 MHz

3G (UTMS) : 900 MHz, 1800 MHz

4G (LTE) : 800 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz

WiFi:

2,4 GHz og 5 GHz

TETRA:

380 - 399 MHz

870 - 876 MHz

915 - 921 MHz

DECT:

1880 - 1900 MHz

Figur 1: Frekvensoversigt for trådløse kommunikationsteknologier i Danmark

Frekvensresponskurve:

Alle måleapparater er kalibreret til een bestemt frekvens, hvorfor de kun er absolut nøjagtige for lige netop denne frekvens. For at kunne

anvende måleapparaterne bredere vil bedre modeller derfor være forsynet med en frekvensresponskurve, som er et udtryk for hvilken korrektionsfaktor, der skal tilføres målingen, afhængig af hvilken frekvens der måles. Visse måleapparater har denne korrektionsfaktor indbygget, andre måleapparater tillader, at den angives manuelt, mens andre måleapparater blot overlader korrektionen til brugeren.

En forholdsvis flad frekvensresponskurve vil være en fordel, idet dette betyder, at apparatet måler nogenlunde rigtigt over hele følsomhedsområdet.

Peak og RMS i pulserende stråling:

Al vores elektromagnetiske stråling kan beregnes som bølger. (At det så i andre henseender giver mere mening at beregne det som små partikler er en anden sag, som ikke skulle være relevant for nærværende problem)

Når man arbejder med bølger og bølgeformer er det væsentligt at adskille de to former for målinger, nemlig hvor man måler bølgens højeste punkt (peak), og hvor man måler en slags gennemsnit af bølgen (RMS).

Den almindelige måde at finde et gennemsnit for et givet antal tal er at lægge tallene sammen for derefter at dividere med antallet af tal. Man kan gøre noget lignende ved en bølgefunktion, hvor man udmåler arealet under kurven og dividerer med bredden af det pågældende kurveudsnit.

Denne måde at lave et gennemsnit af en kurve på er ikke særlig meget anvendt, selv om den godt kan give mening i visse tilfælde. En af grundene til, at denne metode ikke er særligt udbredt, er, at den giver et underligt resultat, når man anvender den på en AC-kurve, hvor halvdelen af kurven jo ligger under 0. Gennemsnittet for en sådan AC-kurve vil således give 0, hvilket måske nok er matematisk sandt, men ikke kan bruges til ret meget.

I stedet for en simpel gennemsnitsmåling anvender man derfor en måling kaldet RMS (Root-Mean-Square), som i matematisk henseende svarer til at udføre følgende procedure:

1: Først tegn (eller beregn) en kurve der er kvadrateret på den første kurve. At kvadrere noget vil sige at sætte det i anden.

2: Dernæst udregn arealet under kurven og divider det med bredden af det ønskede kurveudsnit

3: Hvorefter man tager kvadratroden af det fremkomne tal

RMS er således igen relateret til arealet under kurven; men man kan med lige så god ret sige, at det er en form for udregning af standardafvigelsen af en række tal.

For en sinuskurve er RMS altid 0,707 gange amplituden (bølgehøjden).

RMS-værdien er i virkeligheden meget anvendelig i forhold til almindelige elektriske udregninger. Man kan således opfatte RMS-værdien af en elektrisk spænding som den tilsvarende værdi, hvis et tilsvarende arbejde skulle udføres af en DC-spænding. Dette betyder (heldigvis, for ellers ville AC-udregninger blive langhårede), at når vi bruger RMS-værdien, kan vi meningsfyldt anvende de velkendte formler fra DC-verdenen til at udregne AC, nemlig:

<u>Ohms Lov:</u> $U = R * I$	Hvor: U er spænding målt i volt R er resistans (modstand) målt i ohm I er strømstyrke målt i ampere
<u>Effektloven:</u> $P = U * I$	Hvor: P er effekt målt i watt U er spænding målt i volt I er strømstyrke målt i ampere

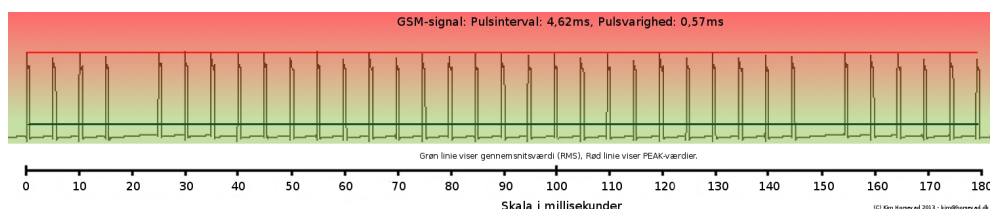
Figur 2: Ohms lov og Effektloven kan begge anvendes på AC-spænding, hvor spændingen opgives ved RMS.

RMS-værdien er således den værdi, der normalt opgives, når man omtaler AC-spænding. Eksempelvis vil vores normale 230 volt lysnet have en peak-værdi på omkring 320V. Man kan således umiddelbart se, at der er en vis forskel på de to målinger.

Når vi arbejder med radiobølger, som kan have biologisk påvirkningspotentialer, er det altid peak-værdierne, der er interessante.

Forskellen mellem RMS og peak-målinger er også een af grundene til at personer med interesse for de non-termiske effekter af mikrobølgestråling meget sjældent finder støtte for deres synspunkter hos personer, hvis opfattelse af mikrobølgestråler udelukkende er baseret på RMS-værdier. Forholdet mellem peak og EMS ved non-sinusodiale kurver (som eksempelvis mobilstråling) kan nemlig blive yderst markant.

I figur 3 findes et signalstrukturplot over strukturen i et GSM telefonopkald. Plottet blev konstrueret ud fra en primitiv krystalmodtager koblet til lydindgangen på en computer, hvorved transmissionens pulser kunne vises som lydkurver på PC'en.



Figur 3: Signalstrukturplot for igangværende GSM-transmission

GSM er bygget op omkring en kombination af to forskellige måder at organisere radiotransmissioner på. Den ene af disse måder kaldes FDMA (frequency division multiple access), og den anden kaldes TDMA (time division multiple access).

Denne kombination er valgt for at give plads til så mange samtaler som muligt på så lidt radiofrekvenser som muligt, idet operatørene skal betale staten for adgang til frekvensbåndene.

FDMA-strukturen giver således mulighed for omkring hundrede samtidige kommunikationsbånd inden for det allokerede frekvensbånd. Der er omkring 200kHz mellemrum mellem de forskellige kommunikationsbånd.

For yderligere at give plads til endnu flere samtaler benyttes TDMA-strukturen oven på FDMA.

TDMA bryder hver kommunikationsbånd op i 8 tidsenheder, således at 8 mobiltelefoner samtidigt kan bruge samme kommunikationsbånd.

En konsekvens heraf er, at den enkelte mobiltelefon opererer med en transmissionscyklus på 1:8, således at den kun sender i en ottendedel af tiden den er online.

Samtidigt vil en basestation i en mobilmast (ud over normalt at sende med højere effekt) også have en markant højere (8/8) transmissionscyklus end en mobiltelefon. Basestationen kan altså forventes at sende hele tiden.

På strukturplottet kan der, som tidligere nævnt, findes et grafisk overblik over, hvorledes en GSM-mobilsamtale kan foregå. Mobiltelefonen sender altså sine data i små pulser med en varighed af 5,7ms, og med et interval på 4,6ms.

Hver 26. signalpuls undlades. Denne udeladelse kan i øvrigt være vigtig i forbindelse med biologisk påvirkningspotentialer, idet der herved fremkommer et modulationsmønster på 8,33Hz.

På strukturplottet er der indtegnet to linier. Den grønne er RMS-værdien (som altså er en slags gennemsnit). Det er RMS-værdien, der benyttes i alle offentlige målinger i forbindelse med tilladelser og grænseværdier. Det er samtidigt RMS-værdien, der opgives fra teleselskaber og producenter.

Den røde linie betegner toppene af de enkelte signalpulser, og er den væsentlige i forbindelse med biologisk påvirkningspotentialer. Som det umiddelbart ses af grafen, kan der være væsentlig forskel. Især på grund af den specielle dobbelte organisering af signaltransmissionen, der er grundlæggende i GSM, derved at den målte RMS-værdi bliver særdeles lav - på trods af at de enkelte signalpulser kan være betydelige.

Hvis man måler på batteriet i en telefon, trækkes der i visse tilfælde (telefonen justerer sendestyrke efter signalforhold) - lige i transmissionsøjeblikket - omkring 2 ampere. Det er ganske betydeligt i forhold til samlet batterikapacitet - og må et eller andet sted også være en udfordring for batteriproducenterne. Men det er altså også et tydeligt bevis på den særdeles kraftige forskel mellem de enkelte stadier i transmissionsstrukturen.

Mange af de andre trådløse produkter har lignende pulserende transmissionsstruktur, men ikke alle de pulserende strukturer er ens.

Dette er væsentligt at være opmærksom på ved læsning af statistiske metaanalyser, hvor denne forskel ellers kan optræde som confounder og skabe et ukendt strukturelt bias.

Nå vi som interesserede borgere henvender os til forskellige myndigheder og firmaer, vil alle deres måleværdier altså være opgivet og målt i RMS. Vores måleværdier vil derimod ofte være målinger af peak-værdier. Dette er en af grundene til, at man ofte misforstår hinanden - og at mennesker uden egentlig teknisk indsigt i målemetoderne nemt kan have en tendens til at forkaste ideerne om biologisk påvirkningspotentiale, idet der, regnet i RMS-facon, kun måles en meget lille strålingsintensitet.

Det vil derfor være hensigtsmæssigt i enhver relevant henseende at gøre opmærksom på disse forskellige målemetoder og deres forskellige anvendelser.

Måleenheder:

Et elektromagnetisk felt kan anskues som produktet af to vektorer, nemlig den magnetiske feltvektor og den elektriske feltvektor, hvis interaktioner kan udregnes efter Maxwells ligninger. Det samlede elektromagnetiske felt benævnes ofte Poynting-vektoren efter ophavsmanden til udregningsmetoden, John Henry Poynting.

Poynting-vektor: $S = E * H$	Hvor: S er feltintensiteten målt i watt/m ² E er det elektriske felt H er det magnetiske felt
--	--

Figur 4: Udregning af det elektromagnetiske felt ved Poynting-vektoren. Vektoren udtrykker egentlig raten af energioverførsel per arealenhed. Enheden er derfor watt pr kvadratmeter.

Feltintensiteten, S, giver altså et mål for, hvor megen energi det elektromagnetiske felt er i stand til at overføre pr arealenhed. Det engelske begreb er "Power Flux Density". Der måles altid i watt pr kvadratmeter som grundenhed.

Feltintensiteten er således i sit definitionsmæssige udgangspunkt både udregningsmæssigt og forståelsesmæssigt koblet til hvor meget energi der overføres fra det elektromagnetiske felt til en genstand i feltet. Sådanne målinger svarer altså konceptuelt til RMS-værdien af det

pågældende felt. Officielle målinger er baseret med gennemsnit af RMS over 6 minutter.

Hvis man skal følge gældende standarder, giver det derfor bedst mening at notere og afrapportere målinger af RMS-værdier i enheden watt pr kvadratmeter (eller velegnede derivativer deraf, som for eksempel: milliwatt pr kvadratmeter eller mikrowatt pr kvadratcentimeter).

For visse af de pulserende mikrobølgestråler, der er relevante for nærværende emne, vil der være ganske stor forskel (omkring faktor 100 for DECT-enheder) mellem RMS-værdier og Peak-værdier. Det kan derfor i et vist omfang være problematisk at opgive målte værdier for Peak-målinger i enheder, der normalt referer til gennemsnitsmålinger af RMS-værdier, hvorfor det i forhold til målinger af Peak-værdier vil være mere velegnet at måle og opgive måleværdier i volt pr meter, hvilket tilkendegiver øjeblikksmålinger af det elektriske felt.

Der kan omregnes mellem de forskellige værdier, formler dertil er givet i appendix, men vær opmærksom på, at sådanne omregninger kun giver fuld matematisk mening ved ikke-pluserende signaltransmissioner.

Dokumentation af målinger:

Der kan være forskellige grunde til at foretage opmålinger af RF-felter. I visse henseender handler det om privatpersoner, som ønsker at kende strålingsniveauet i deres nærmiljø eller i deres arbejdsomgivelser. I andre henseender kan man være udsat for strålingsniveauer, der bør dokumenteres og indberettes til relevante myndigheder.

Målinger i nærmiljøet:

Eksempelvis kan man som interesseret borger relativt nemt anskaffe sig et prisbilligt apparat og gå i gang med sine målinger. De første målinger vil sandsynligvis være usystematiske, men behøver ikke at være værdiløse dermed. Alene de indledende målinger af strålingsniveau for de enkelte trådløse apparater kan være med til at give betydelig viden om de relativt høje strålingsniveauer, de moderne menneske omgiver sig med. Måleapparatet kan samtidigt

anvendes til at forvisse sig om fraværet af specifikke strålingskilder, eksempelvis ved målinger ved enheder, hvor den trådløse kommunikation er slået fra.

I forhold til sådanne målinger vil der ikke være nogen større anledning til at fokusere på frekvensresponskurve og kalibrerede målinger. Måleapparatets værdier bliver kun anvendt til at måle op i mod andre værdier, som er målt med samme måleapparat. Den form for målinger kaldes relative målinger, og er meget værdifulde i forbindelse med at etablere "før-og-efter" målinger, for eksempel efter man har udskiftet trådløse kommunikationsteknologier med trådede kommunikationsteknologier.

Målinger i forhold til afskærmning:

Der er personer, som reagerer allergisk på tilstedeværelsen af RF-felter. For sådanne personer vil det ligeledes være af stor hjælp at besidde et forholdsvis fintfølede apparat; men igen er der ingen tvingende grund til at investere i apparater med automatisk frekvensresponskorrektion og ligende finesser. Apparatet vil jo stadig blot blive brugt til relative målinger.

De relative målinger vil således også være yderst relevante i forbindelse med opsætning af afskærmningsmateriel, således at man kan forvisse sig om det valgte materiales effektivitet og eventuelt udpege mangler i den valgte afskræmningsstrategi.

Dokumentationsegne målinger:

I forhold til målinger, der udføres med det formål at tilvejebringe dokumentation for visse specifikt målte værdier i et specifikt område, vil det være fornuftigt at anvende et apparat, som er kalibreret (eventuelt med certifikat derpå), og som samtidigt har en kendt frekvensresponskurve (og eventuelt mulighed for at foretage automatiske korrektioner).

Visse af de meget dyre apparater har digitale udlæsningsmuligheder; men ufravigelig dokumentation kan også tilvejebringes ved simpel fotografering af måleapparatets udlæsning. Hvis dette gøres på en måde, hvor apparatets display er i fokus, mens baggrunden stadig er synlig, har man en ganske robust dokumentation for at en specifik målt værdi er opmålt på et specifikt sted.

Målinger af Smart-Meters:

Smart-Meters vil opfattes af de fleste borgere som en teknologisk landvinding, hvor man ikke længere selv skal bruge tid på aflæsning og indberetning. Problemet er blot, at disse ofte er forsynet med indbyggede GSM-moduler, i stedet for at være tilkoblet et trådet kommunikationsnet. Specifikationerne til disse smart-meters angiver ofte en relativ sjælden kommunikation mellem smart-meter og aflæsningscentral, hvorimod man ved egentlig måling ved smart-meteret vil opdage, at der med ganske små mellemrum sendes netværksopdateringer mellem GSM-enheden og nærmeste antennemast. Fotodokumentation heraf vil således ofte kunne påpege egentlige fejl i specifikationerne for enheden og vil derfor i visse tilfælde kunne hjælpe i processen med at få opsat alternative forbrugsmålingsteknologier.

Målingsmetodologi:

Ved næsten alle opmålinger vil det være fordelagtigt at fortage en indledende survey og derefter udarbejde en mere specifik metodologi i forhold til detailopmålinger på de lokationer, der blev udpeget som interessante i den indledende survey.

Hvis ens målinger har som formål at nedsætte strålingsniveauet i ens nærmiljø behøves som sådant ikke nogen yderligere udvikling af metodiske overvejelser, blot vil det være ganske fornuftigt kun at variere een parameter ad gangen, således at man har mulighed for at danne sig et overblik over, hvilke ændringer der forårsager hvilke ændringer i strålingsniveauet. Tilsvarende ved opsætning af afskærmningsmateriel, hvor der i mellem hver kontrolmåling bør udføres så få ændringer som muligt. Derved kan man opnå ganske detaljeret kendskab til virkningen af de enkelte elementer i afskærmningen.

Hvis ens målinger derimod har til sigte at danne grundlag for en egentlig afrapportering, bør man overveje den metodologiske struktur ganske grundigt. Ingen kan forvente, at en lægmand kan lave afrapporteringer med videnskabelig grundighed; men man har som lægmand mulighed for at udføre og dokumentere målinger med tilstrækkelig nøjagtighed og robusthed til at disse målinger burde være interessante som undersøgelsesfelter for egentlig videnskabelig forskning.

To vigtige begreber inden for det videnskabelige område er "validitet" og "reliabilitet".

Målingens reliabilitet er et udtryk for målingens grundighed og korrekthed, altså groft sagt om andre personer med andre måleapparater ville kunne måle tilsvarende værdier på de samme steder. Nogle hovedregler for at kunne præstere et højt niveau af reliabilitet i sine målinger vil være:

- Høj grad af grundighed i sine målinger
- Fast og velbeskrevet struktur for hvorledes målingerne udføres
- Høj detaljerethedsgrad og transperancitet i beskrivelsen af målestrukturen

Målingens validitet har at gøre med, hvorvidt man rent faktisk måler det fænomen man påstår at måle.

Hvis man eksempelvis er interesseret i at måle strålingen fra en nærliggende mobilmast, men holder måleapparatet tæt på den lomme, hvor man opbevarer sin egen mobiltelefon, vil måleresultatet vise den kombinerede stråling fra både antennemasten og ens egen mobiltelefon. Målingen vil derved ikke være valid, hvis personen angiver kun at have målt strålingen fra antennemasten.

Hotspots, konstruktiv interferens og afstandskvadratloven:

Et grundforhold i alt arbejde med elektromagnetiske felter er afstandskvadratloven, på engelsk kendt som "Inverse Square Law". Den siger ganske simpelt at feltintensiteten i et RF-felt aftager med kvadratet på afstanden. Med andre ord har afstanden rigtig stor betydning for feltintensiteten.

Problemet er blot, at denne lovmæssighed ikke tager højde for lokale forhold, hvor tilbagekastningssituationer kan skabe lokale hotspots, hvor feltintensiteten er højere end umiddelbart ud for antennen. Dette er et resultat af specifikke refleksioner af radiobølgerne fra reflekterende overflader, hvor disse tilbagekastninger ved rene tilfældigheder kan have indbyrdes dimensioner, der giver anledning til konstruktiv interferens mellem de tilbagekastede radiobølger.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at sådanne hotspots ikke er i modstrid med afstandskvadratloven, men derimod en funktion af velkendte fysiske principper.

Især glatte overflader med indbyrdes vinkler på mellem 60 og 90 grader kan være årsager til hotspotfænomener. Det er derfor meget

væsentligt at foretage nøjagtige og grundige opmålinger i sådanne områder. Bemærk at man i opmålingshenseende ikke bør forårsage skyggeffænomener med sin egen krop, altså placere denne mellem sender og måleapparat.

Måleværdier, grænseværdier og målte virkninger:

Indledningsvis bør det bemærkes, at alle officielle målinger og grænseværdier er baseret på RMS-målinger.

Engelske Powerwatch⁴ har samlet en liste af forskellige grænseværdier og referenceværdier fra forskellige sammenhænge:

Reference- el. grænseværdi	mW/m ²	V/m
ICNIRP (1998), WHO	9.000	58
Rusland, Kina	100	6
Schweiz, Lichtenstein, Luxemburg	24	3
100 m fra antennemast (0,2-6 V/m)	10	1,9
Wien	10	1,9
Italien	1	0,6
Salzburg GSM/3G udendørs (2002)	0,01	0,06
Salzburg GSM/3G indendørs (2002)	0,001	0,03
Nedre virkningsgrænse for mobiltelefoner	0.000000002	0.00003
RF baggrundstråling	0.000000001	0.00002
Kosmisk baggrundsstråling for 1800MHz	0.0000000000001	0.00000006

Figur 5: Forskellige reference- og grænseværdier gengivet fra engelske Powerwatch. Bemærk at Danmark følger ICNIRPs grænseværdi.

På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at angive specifikke grænseværdier som værende sikre i forhold til non-termiske påvirkninger. Engelske Powerwatch⁵ anbefaler, at man – i hvert fald i soveværelser og lignende hvilesteder – sikrer så lave feltstyrker som muligt, og under alle omstændigheder under 0,05 V/m.

Ved bymæssig bebyggelse kan det være svært at nå ned på 0,05 V/m, hvorfor man i visse tilfælde vil være nødsaget til at overveje

⁴ <http://www.powerwatch.org.uk/science/intguidance.asp>

⁵ <http://www.powerwatch.org.uk/science/intguidance.asp>

afskærmende tiltag.

I arbejds- og undervisningsmæssig henseende kan strålingsniveauet være meget højere. Jeg har personligt dokumentation for Peak-målinger på over 15 V/m i normale undervisningssituationer i folkeskolen. Dette niveau er tilladt ifølge danske grænseværdier, idet Sundhedsstyrelsen følger ICNIRPs anbefalinger, men ville – som det fremgår af figur 5 – være ulovlige i flere lande.

Som referenceværdi kan det også medtages, at man normalt regner med, at elektronikudstyr skal kunne udsættes for op til 3 V/m, uden at få utilsigtede virkninger på grund af skadelig interferens.

Peak-værdien for den elektriske feltstyrke for en enkelt Ipad, når denne sender/modtager med fuld kapacitet, kan ligeledes måles til omkring 5 V/m i hovedafstand (40cm) derfra.

Birkely, Try, 5. december 2013

Kim Horsevad

Note:

Undertegnede ønsker ikke involvering i salg/rådgivning vedr. måleapparater eller kommercielt opmålingsarbejde og har således ikke mulighed for at anbefale specifikke opmålere eller specifikke måleapparater.

Både forfatteren og Rådet for Helbredssikker Telekommunikation hjælper dog gerne med generelle forespørgsler vedr. dette dokument emnefelt. Direkte forespørgsler til forfatteren kan rettes på: kim@horsevad.dk

Appendix - Udregninger og formler⁶:

Konstanter:

$$c_0 = 299792458 \text{ m/s (Lysets hastighed)}$$

$$Z_0 = 120\pi = 377\Omega \text{ (Modstand for atmosfærisk luft)}$$

Feltintensitet ("Power Flux Density") (S):

$$S = E^2/Z_0 = Z_0 * H^2$$

E er betegnelsen for styrken af det elektriske felt

H er betegnelsen for styrken af det magnetiske felt

Feltintensiteten (S) kan også udtrykkes som en funktion af den udstrålede effekt (Pt), antennens "gain" (G) og afstanden til senderen (d):

$$S = G * P_t / 4\pi d^2$$

Modtaget (målt) effekt (P_r):

$$P_r = A_e * S$$

S er feltintensiteten

Elektrisk (E) og magnetisk (H) feltstyrke:

I en hvilken som helst radiotransmission er der to komponenter i det elektromagnetiske felt (S), nemlig det elektriske (E) og det magnetiske (H):

$$E = Z_0 * H$$

$$H = E / Z_0$$

Effektivt Antenneareal:

A_e er antenneareal. Dette kan måles eller udregnes på baggrund af antennens "gain" efter denne formel:

$$A_e = G * \lambda^2 / 4\pi.$$

Antennens "Gain" (G) er et forhold for hvor effektivt antennen sender eller opfanger et signal set i forhold til en perfekt isotropisk antenne.

6 Formelgrundlag:

Balanis, C., A. 1997. Antenna theory, analysis and design. Wiley. (Kapitel 2).